

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen	5
Kurzfassung der Arbeit	13
Extended Abstract	15
1 Motivation und Zielsetzung	17
1.1 Zielsetzung der Arbeit.....	18
1.2 Aufbau der Arbeit.....	18
2 Verwendete Methoden zur Tiefenmessung	21
2.1 Stand der Technik.....	21
2.1.1 Indirekte Tiefenmessung.....	21
2.1.2 Direkte Tiefenmessung .....	23
2.2 Allgemeine Definitionen für diese Arbeit.....	24
2.3 Allgemeiner Versuchsaufbau .....	25
2.4 Messung der Kapillartiefe mittels Hochgeschwindigkeits-Röntgenanlage .	27
2.4.1 Schattenprojektion .....	28
2.4.2 Abschwächung von Röntgenstrahlung .....	30
2.4.3 Auswertung der Röntgenbilder – Zeitschnitt .....	32
2.5 Tiefenmessung mittels In-Process Depth Meter (IDM).....	34
2.5.1 Messprinzip des IDM .....	34
2.5.2 Eigenschaften eines OCT Messsystems .....	38
2.5.2.1 Axiale Auflösung .....	38
2.5.2.2 Laterale Auflösung.....	39
2.5.2.3 Eindeutigungsbereich des Weglängenunterschieds .....	39
2.5.2.4 Eigenschaften des IDM.....	40
3 Bestimmung der Kapillartiefe	41
3.1 Bestimmung der optischen Pfadlänge.....	41

3.1.1	Brechungsindex.....	42
3.1.1.1	Temperaturabhängigkeit des Brechungsindexes von optischen Elementen (Zone A) .....	43
3.1.1.2	Heißes Gas (B, C, D).....	44
3.1.1.3	Fehlerbetrachtung der optisch gemessenen Pfadlänge aufgrund der Brechungsindexänderung.....	48
3.1.2	Geometrische Pfadlänge.....	50
3.1.2.1	Einfacher Raytracing-Algorithmus („Raytracer“) .....	50
3.1.2.2	Test der Funktion anhand von Modellgeometrien.....	57
3.1.2.3	Reale Kapillargeometrien.....	60
3.2	Verifikation der gemessenen Kapillartiefe .....	65
3.3	Schlussfolgerung zur Kapillartiefenmessung .....	70
4	Methode zur Bestimmung der Nahttiefe aus der gemessenen Kapillartiefe	71
4.1	Analyse des IDM-Tiefensignals .....	74
4.1.1	Einteilung des Tiefensignals in charakteristische Bereiche .....	74
4.1.1.1	Einteilung mittels Punktdichte .....	75
4.1.1.2	Einteilung mittels Rauschwahrscheinlichkeit .....	77
4.1.2	Bestimmung der Nahttiefe .....	82
4.1.3	Geeignete Einstellungen der Perzentile und der Fensterlänge .....	84
4.2	Experimentelle Validierung .....	85
4.3	Schlussfolgerung zur Bestimmung der Nahttiefe .....	88
5	Regelung der Nahttiefe beim Laserstrahlieforschweißen	89
5.1	Aufbau des verwendeten Regelkreises .....	90
5.1	Tiefe der Kapillare bei Leistungsänderung.....	91
5.1.1	Modulation der Laserleistung .....	92
5.1.1.1	Sinusförmige Leistungsmodulation.....	93
5.1.1.2	Rampenförmige Leistungsmodulation .....	94
5.1.1.3	Sprungförmige Leistungsmodulation .....	95
5.1.1.4	Reaktion der Laserleistung auf die Vorgabewerte .....	96
5.1.2	Charakterisierung des Systems aus dem Frequenzgang .....	97
5.1.3	Rampenantwort .....	101
5.1.4	Sprungantwort .....	103

5.1.5	Trajektorie der Kapillartiefe und der Leistung .....	106
5.1.5.1	Hysteres bei sinusförmiger Leistungsmodulation.....	106
5.1.5.2	Hysteres bei Leistungsrampe und Leistungssprung.....	108
5.1.6	Zeitliche Tiefenänderung der Kapillare als Funktion der zeitlichen Leistungsänderung.....	111
5.1.7	Schlussfolgerung zur Reaktion der Tiefe auf eine Laserleistungsänderung .....	113
5.2	Reglerparameter .....	113
5.2.1	Test der Reglerparameter.....	115
5.2.2	Leistungs- und Tiefenänderung .....	119
5.3	Evaluation der Regelung.....	120
5.3.1	Kapillartiefe bei geregelter Laserleistung .....	120
5.3.2	Nahttiefe bei geregelter Laserleistung .....	125
5.4	Schlussfolgerung zur Regelung der Kapillar- und Nahttiefe .....	129
6	Zusammenfassung	131
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	135
8	Danksagung	141